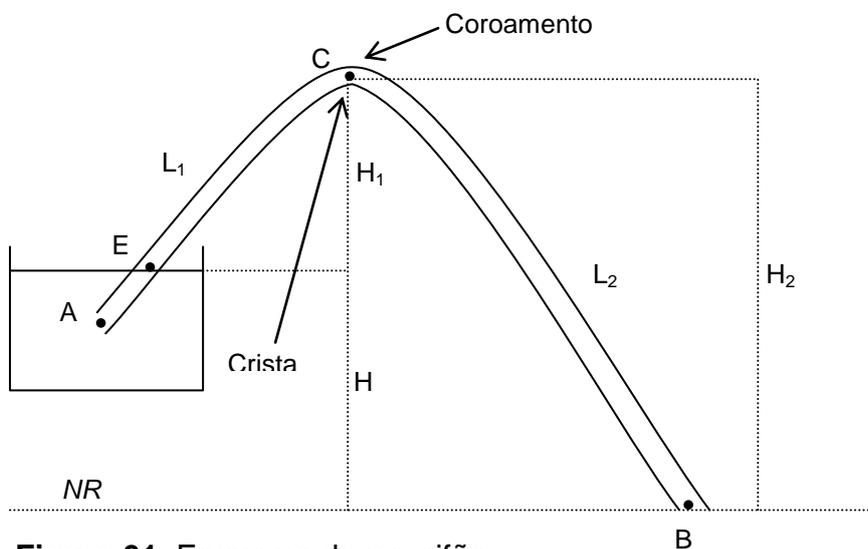


## SIFÕES

### 01. Definição:

Denominam-se sifões os condutos forçados parcialmente, situados acima do plano de carga efetiva.

A Figura 01 mostra esquematicamente um sifão que, para funcionar, deve estar previamente cheio de líquido.



**Figura 01.** Esquema de um sifão

Para que haja escoamento é necessário *escorvã-lo* (enchê-lo), operação que pode ser executada aspirando o líquido pela extremidade *B*. Uma vez escorvado, o sifão funciona por efeito do desnível *H*, entre o nível d'água do reservatório e a boca de saída *B* (Figura 02).

### 02. Partes componentes:

A seção inicial denomina-se boca de entrada e a final boca de saída. Em *C*, temos o vértice do sifão marcado no eixo do conduto, onde a curva inferior recebe o nome de crista e a superior de coroamento. O trecho *AC*, de comprimento  $L_1$ , chama-se ramo ascendente e o trecho *CB*, de comprimento  $L_2$ , ramo descendente. O comprimento total do sifão será  $L = L_1 + L_2$ .



**Figura 02.** Procedimento de escorva para funcionamento dos sifões.

### 03. Condições de funcionamento:

As condições de funcionamento de um sifão podem ser estabelecidas por meio da equação de Bernoulli.

1ª Condição: Aplicando esta equação ao ponto *E* situado no nível d'água, do reservatório, e ao ponto *B*, no centro da boca de saída, tem-se, para o nível de referência na posição indicada na Figura 01, que:

$$H + \frac{P_a}{\gamma} + 0 = 0 + \frac{P_a}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + h_{fAB} \dots\dots\dots (1)$$

A carga no ponto *E*, contido no plano de carga efetiva, é nula porque o reservatório tem, supostamente, nível d'água constante. A parcela  $h_{fAB}$  representa as perdas de carga totais. A pressão atmosférica é a mesma à entrada e à saída do conduto. Então, da igualdade acima, tem-se que:

$$V = \sqrt{2g(H - h_{fAB})} \dots\dots\dots (2)$$

Conclui-se que, em razão da velocidade média do fluido ser necessariamente positiva, **a boca de saída deve situar-se abaixo do plano de carga efetiva e tanto mais abaixo quanto maiores forem as perdas de carga totais.**

2ª Condição: Aplicando o teorema de Bernoulli entre o ponto *E* e o vértice *C*, e considerando o nível de referência na mesma posição da Figura 01, tem-se que:

$$H + \frac{P_a}{\gamma} + 0 = H + H_1 + \frac{V^2}{2g} + \frac{P_c}{\gamma} + h_{fAC}$$

onde:

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{P_a}{\gamma} - (H_1 + \frac{P_c}{\gamma} + h_{fAC}) \dots\dots\dots (3)$$

A parcela  $h_{fAC}$  representa as perdas de carga totais no ramo ascendente do sifão;  $H_1$  é a altura do vértice em relação ao nível d'água no reservatório e  $P_c/\gamma$  representa a altura da pressão no vértice.

Evidentemente, devemos ter

$$\frac{P_a}{\gamma} > H_1 + \frac{P_c}{\gamma} + h_{fAC} \dots\dots\dots (4)$$

Desta inequação, vemos que:

$$H_1 < \frac{P_a}{\gamma} - (\frac{P_c}{\gamma} + h_{fAC}) \dots\dots\dots (5)$$

Esta expressão traduz a segunda condição de funcionamento do sifão, pela qual verificamos que **a elevação do vértice acima do plano de carga efetiva deve ser sempre inferior à altura da pressão atmosférica local**. A elevação  $H_1$  será tanto menor do que  $P_a/\gamma$  quanto maiores forem as perdas de carga no ramo ascendente. Se a pressão no vértice pudesse anular-se:

$$H_1 < 10,33 - h_{fAC} \dots\dots\dots (6)$$

Tal seria o valor máximo teórico de  $H_1$ , consideradas as perdas de carga no ramo ascendente. Entretanto, na prática, o valor de  $H_1$  raramente atinge 6 metros, porque, ao aproximar-se deste limite, a pressão no vértice atinge baixos valores que provocam o desprendimento do ar dissolvido e a formação de vapores que se acumulam no ápice do sifão, perturbando ou interrompendo seu funcionamento.

3ª Condição: Aplicando a mesma equação entre o vértice do sifão e o ponto *B*:

$$H_2 + \frac{V^2}{2g} + \frac{P_c}{\gamma} = \frac{V^2}{2g} + \frac{P_a}{\gamma} + h_{fCB} \dots\dots\dots (7)$$

portanto, tem-se que:

$$\frac{Pa}{\gamma} = H_2 + \frac{Pc}{\gamma} - hf_{CB} \dots\dots\dots (8)$$

Esta igualdade, traduzindo a terceira condição de funcionamento dos sifões, nos diz que **o ramo descendente não pode prolongar-se indefinidamente**. Se assim acontecesse, as perdas de carga, neste trecho do conduto, poderiam assumir valores que tornariam o segundo membro desta expressão negativo, indicando uma situação impossível.

Pela Eq. 2 pode parecer que, aumentando  $H$ , a velocidade cresce e, com ela, a vazão. Esta falsa impressão se desfaz pelo exame da Eq. 8 que estabelece a condição limite do valor de  $H_2$  e, conseqüentemente, de  $H$ .

Os sifões podem funcionar perfeitamente se, ao invés de desaguarem livremente na atmosfera, o fizessem em outro reservatório. Em tal caso, diz-se que a boca de saída está afogada.

#### 04. Cálculo dos sifões:

As perdas de carga totais que aparecem na expressão 1 valem:

$$h_{fAB} = \sum K \frac{V^2}{2g} + f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (9)$$

Levando este valor na Eq. 1, tem-se que:

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum K + f \frac{L}{D}}} \cdot \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (10)$$

Chamando de  $S$  a seção do sifão e fazendo

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \sum K + f \frac{L}{D}}} = R,$$

tem-se que:

$$Q = RS\sqrt{2gH} \dots\dots\dots (11)$$

Geralmente tomamos  $R$  entre 0,5 e 0,8.

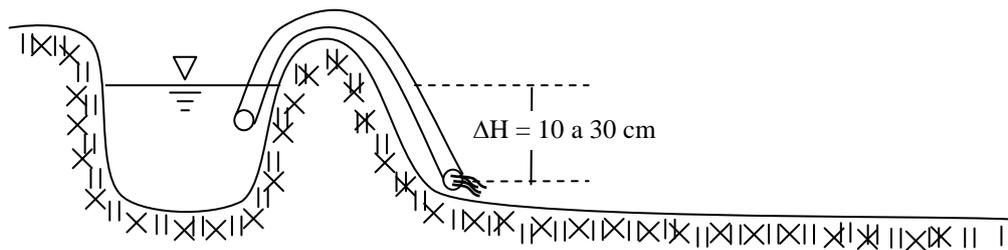
Como primeira aproximação, conhecida a vazão, o diâmetro pode ser calculado pela fórmula

$$H = 0,004 \frac{Q^2}{D^5} \dots\dots\dots (12)$$

## 05. Aplicação de água em irrigação por superfície:

O método mais comum de derivação de água dos canais secundários e terciários para os sulcos, faixas e tabuleiros de irrigação é através de sifões. Eles são de fácil instalação, não afetam a estabilidade do canal e permitem um bom controle da vazão derivada ao sulco. A elevação do nível de água dentro do canal, em relação ao nível do sulco, deve ser tal que o sifão funcione adequadamente, sem causar erosão à jusante. Valores típicos para a altura de carga situam-se entre 10 e 30 cm (Figura 03). A elevação do nível de água no canal em geral é feita por comportas instaladas em espaçamentos apropriados.

Os sifões utilizados em irrigação são tubos usualmente de plástico, leves e de fácil transporte. Estão disponíveis em uma grande variedade de diâmetros (por exemplo, 1/2", 3/4", 1", 2", 3"). O comprimento varia, em geral, entre 1,50 e 2,00 m. Um ou mais tubos pode operar em um único sulco. A eficiência de aplicação de água depende em grande parte da habilidade do irrigante em manejar os sifões.



**Figura 03.** Esquema de instalação dos sifões.

A vazão de um determinado sifão é uma função da carga hidráulica ( $\Delta H$ ), do diâmetro ( $\varnothing$ ), do comprimento, da rugosidade interna do tubo e do número de curvas. Uma vez escolhido o tipo de sifão, as únicas variáveis são o diâmetro e a carga hidráulica. Pela equação seguinte, podem-se estimar valores médios da vazão para sifões, em função do diâmetro interno e da carga hidráulica.

$$Q = 0,65 \cdot 10^{-3} \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}$$

sendo:

Q : vazão do sifão, em L/s;

S : Área da seção transversal, em  $\text{cm}^2$ ;

$g$  : aceleração da gravidade, 981 cm/s;

$\Delta H$  : altura de carga, em cm.

Prevalecendo a condição de fluxo livre,  $\Delta H$  é a diferença de nível entre a superfície da água dentro do canal e a saída do sifão. O uso de sifões permite irrigar com redução da vazão inicial (Figura 04). Para isto, podem ser utilizadas diferentes técnicas: uma é levantar a extremidade de saída do sifão, diminuindo  $\Delta H$ , no momento da redução da vazão outra, é iniciar a irrigação com vários sifões por sulco aplicando a vazão de avanço e, no momento da redução da vazão, remover alguns destes sifões. Por exemplo, se a vazão reduzida é a metade da inicial, então utilizam-se dois sifões iguais por sulco para completar a fase de avanço e, para operar na fase de reposição com vazão reduzida, retira-se um dos sifões. Outra alternativa é aplicar a vazão de avanço com vários sifões de diâmetros diferentes e, em tempos subseqüentes, reduzir gradativamente a vazão pela remoção de sifões.



**Figura 04.** Derivação de água em um sulco de irrigação com o uso de dois sifões

## 06. Calibração de sifões:

A calibração de um sifão consiste em se obter por meio de regressão uma relação funcional entre a vazão do sifão e a carga hidráulica. A correlação entre as variáveis é muito alta, sobretudo se o procedimento de calibração for criterioso. De posse dos dados de calibração, evita-se a operação do teste de vazão pelo método direto em campo.

Apresentar-se-á a seguir metodologia utilizada na calibração de um sifão, com teste realizado no Laboratório de Hidráulica e Irrigação do Departamento de Engenharia Agrícola/UFC. Inicialmente, mediram-se o comprimento e o diâmetro do sifão com uso de uma trena e um paquímetro, respectivamente. Em seguida, acionou-se o circuito hidráulico do Laboratório e com uso de um vertedouro, regulou-se o nível de água no canal, com o intuito de se obter a condição de fluxo permanente. Obtida esta condição, fez-se a escorva do sifão derivando-se a água para uma calha de zinco de modo a retornar para a cisterna (Figura 05).

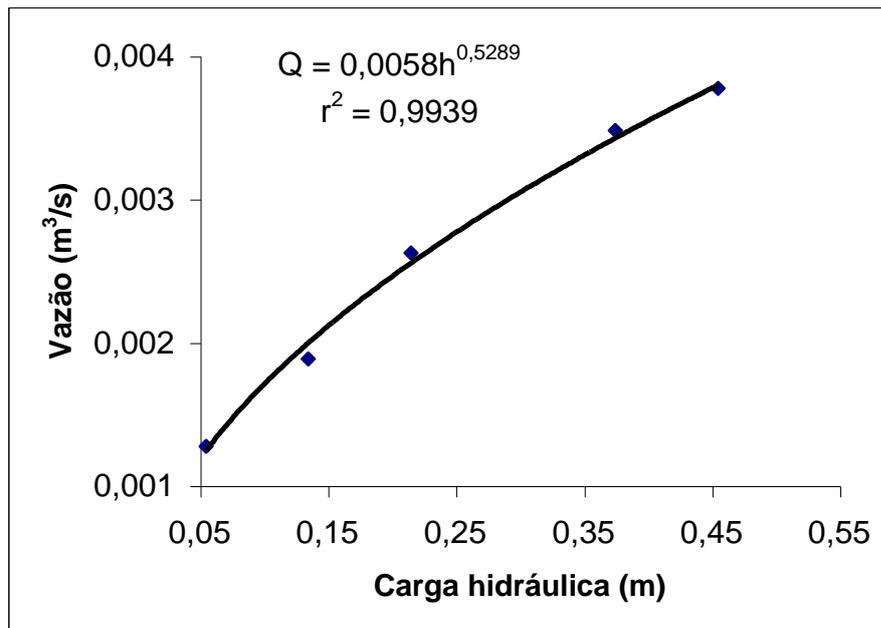


**Figura 05.** Procedimento para calibração de sifões em laboratório

Depois de acionado, o sifão foi submetido à cinco diferentes cargas hidráulicas ( $\Delta H$ ): 5,5; 13,5; 21,5; 37,5 e 45,5 cm. Para o ajuste destas cargas hidráulicas, utilizou-se um "nível de mangueira" e pelo princípio dos vasos comunicantes mediram-se as diferenças entre o nível da água no canal e a saída do sifão (metade da secção transversal) o qual foi apoiado sobre um suporte com garras distanciadas à cada 8,0 cm.

Para cada uma destas cargas hidráulicas cronometrou-se o tempo necessário para encher um recipiente de 9,88 L, calculando-se assim as vazões pelo método direto. Para cada par de valores (vazão x carga hidráulica), referido procedimento foi realizado em três repetições.

Um ajuste estatístico foi realizado com os pares de valores (vazão x carga hidráulica), com o intuito de se obter a expressão que melhor descrevesse a relação funcional entre vazão e carga hidráulica (Figura 06).



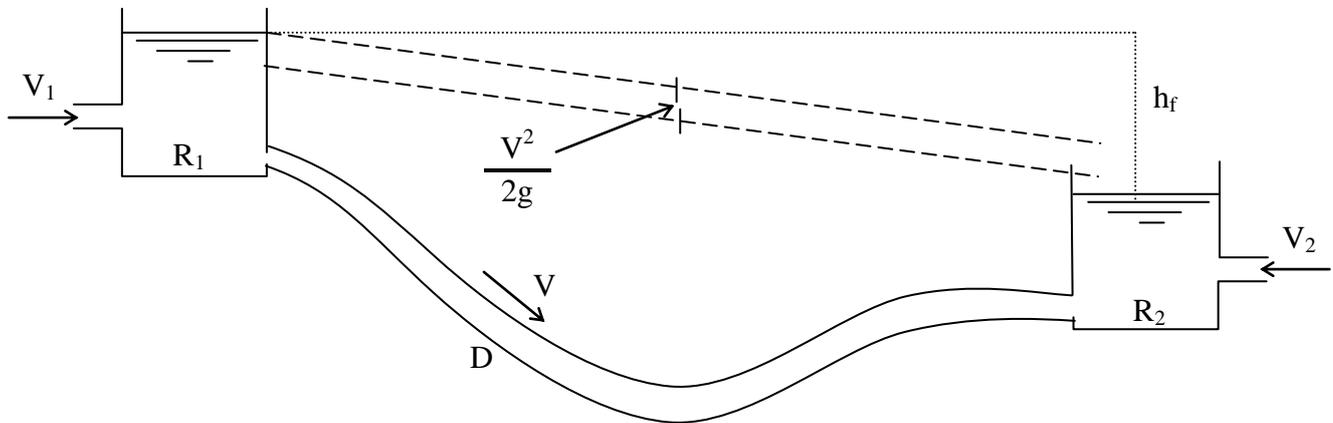
**Figura 06.** Equação de regressão da vazão em função da carga hidráulica

#### **Exemplo de aplicação:**

Calcular a lâmina média de água aplicada em uma área de 0,75 ha e irrigada por inundação com a cultura do arroz, utilizando-se seis sifões calibrados, cuja equação é apresentada na Figura 06, considerando que a irrigação teve uma duração de 15 (quinze) horas, cuja carga hidráulica em todos os sifões era de 0,25 m.

### 07. Sifões Invertidos:

Nome impróprio dado à tubulações utilizadas em travessias de vales ou cursos de água (Figura 07) e que são calculadas como condutos comuns, levando em conta as perdas de carga contínuas e acidentais.



**Figura 07.** Esquema de um sifão invertido